15CrMoR 低合金耐热钢焊接工艺评定

陈文静，屈金山，钟 玉，潘全喜
(西华大学 材料科学与工程学院，四川 成都 610039)

摘要：根据 15CrMoR 低合金耐热钢的化学成分及它的碳当量计算值，分析了该材料的焊接裂纹敏感性。采用 V 型坡口对接试件、A302 焊条进行了焊接工艺试验。试验结果表明，采用 A302 焊条焊接 15CrMoR 低合金耐热钢，焊后不必进行热处理就能满足 JB4708-2000 焊接工艺评定的要求，试验证明所采用的焊接工艺可应用到生产实践中。

关键词：耐热钢；碳当量；焊接裂纹；焊接工艺
中图分类号：TG457.11 **文献标识码**：B **文章编号**：1001-2303(2006)06-0066-02

Welding procedure of low alloy heat-resistance steel 15CrMoR

CHEN Wen-jing，QU Jin-shan，ZHONG Yu，PAN Quan-xi
(School of Materials Science and Engineering，Xihua University，Chengdu 610039，China)

Abstract：Based on the compositions of 15CrMoR and its carbon equivalent，the welding crack sensibility of the heat-resistant steel is analyzed.The welding process test has been carried out by means of V type bevel butt welding with electrode A302，which shows it can meet the requirements of the standard JB4708-2000 without heat treatment after welding and is applicable for welding production.

Key words：heat-resistant steel；carbon equivalent；welding crack；welding procedure

0 引言

某公司生产制作的压力容器材质为 15CrMoR 低合金耐热钢板，厚度 16 mm。该容器所装的介质为变换水蒸气。由于 15CrMoR 材料是该公司首次使用的低合金耐热钢，属Ⅳ类材料，在焊接时易出现冷裂纹、焊接热影响区硬化和热处理后产生再热裂纹等问题[1-2]。因此在制定焊接工艺方案时，根据该公司的实际情况和整台设备在热处理后可能出现的焊接缺陷，制定了相应的返修焊接工艺，并进行了焊接工艺评定。生产实践证明制定的返修焊接工艺可行。

1 碳当量计算

含有 Cr，Mo 的珠光体耐热钢具有明显的淬硬倾向，焊接时在焊缝和热影响区极易出现硬脆的马氏体组织，产生很大的内应力，导致焊接接头热影响区产生裂纹。如果焊接线能量过大，热影响区晶粒明显粗化，在焊接残余应力的作用下，焊缝热影响区的粗晶区还易出现再热裂纹。另外，在焊后热处理过程中也有产生再热裂纹的可能，可以根据该钢材化学成分确定的碳当量间接评判 15CrMoR 钢的焊接性[1-5]。根据日本 JIS 和 WES 推荐的碳当量公式

$$C_{eq}=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14, \quad (1)$$

当 $C_{eq}<0.46\%$ 时，钢材的淬硬倾向不明显，其焊接性优良；当 $C_{eq}=0.46\%\sim0.52\%$ 时，钢材的淬硬倾向逐渐明显，其焊接时需适当采取相应的措施；当 $C_{eq}>0.52\%$ 时，钢材的淬硬倾向强，属于较难焊接的材料[1,6-7]。

将 15CrMoR 钢的化学成分(见表 1)代入式(1)得

$$C_{eq}=0.14+0.47/6+0.21/24+1.1/5+0.53/4=0.58\%。 \quad (2)$$

表 1 15CrMoR 的化学成分 %

材料牌号	ω (C)	ω (Mn)	ω (Si)	ω (P)	ω (S)	ω (Cr)	ω (Mo)
15CrMoR	0.140	0.470	0.210	0.017	0.015	1.100	0.530

可见，15CrMoR 钢有很大的淬硬性，如果没有特殊的控制措施，很难避免焊接裂纹的出现，同时返修焊接时拘束度较大，易出现较大的拘束应力。因此，在焊接 15CrMoR 钢时要采取适当的工艺措施和选择合适的焊接材料，才能避免焊接裂纹出现。

2 返修焊接工艺的确定

2.1 焊接材料的选用

通过分析 15CrMoR 焊接性可知，焊接材料的

收稿日期：2006-03-03；修回日期：2006-05-12
作者简介：陈文静(1971—)，女，四川内江人，硕士，主要从事材料焊接工艺和焊接接头质量控制方面的研究工作。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

选择是非常重要的。由于补焊后不能再进行焊后热处理,加之补焊时焊接拘束度大,因此选用奥氏体焊条焊接。用奥氏体焊条焊接珠光体耐热钢属于异种钢焊接。如果选用 18-8 型焊条可以防止裂纹的产生,但是焊缝区易产生脆硬的马氏体组织;如果选用 25-20 型焊条,焊缝易形成纯奥氏体组织,易出现热裂纹[2]。为了避免上述问题的出现,选用了 A302 焊条进行焊接,其化学成分如表 2 所示。

表 2　焊条 A302 的化学成分　　%

牌号	ω(C)	ω(Mn)	ω(Si)	ω(S)	ω(P)	ω(Cr)	ω(Ni)	ω(Mo)	ω(Cu)
A302	0.066	1.040	0.630	0.009	0.027	23.940	12.620	0.430	0.170

2.2　焊前预热

由于该类钢的淬硬倾向大,且异种钢焊接时接头各区域金属热膨胀系数不同,如果焊接时冷却速度较大则易形成马氏体组织,导致裂纹的产生。因此,焊前预热非常重要,本试验采用的预热温度 200 ℃~250 ℃,预热范围在坡口两侧 100~150 mm。

2.3　焊接工艺参数

通过反复试验,最终确定的焊接工艺参数见表 3。

表 3　焊接工艺参数

焊层	焊接方法	焊材牌号规格	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V
第 1 层	焊条电弧焊	A302,φ 2.5	60~80	20~22
第 2 层	焊条电弧焊	A302,φ 3.2	100~120	22~24

注:采用直流反接

3　焊接工艺评定

(1)按 JB4708-2000 标准,选用厚 16 mm 的 15CrMoR 板状对接焊接头进行焊接工艺评定。

(2)接头坡口形式如图 1 所示,该坡口由机械加工方法得到,相关参数标在图中。

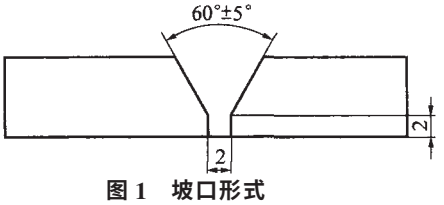

图 1　坡口形式

(3)焊前应仔细清理坡口表面及两侧各 50 mm 范围内的油污、水和铁锈等杂质。

(4)焊接材料选用 A302 焊条,焊接前对焊条应进行 200 ℃~250 ℃烘焙并保温 1~2 h,然后放在保温筒内,随用随取。

(5)定位施焊前要进行预热,预热范围在坡口两侧 100~150 mm,预热温度为 200 ℃~250 ℃。

(6)定位焊后立即清除熔渣,测量温度,符合层间温度要求后立即施焊,焊接时如冷却速度过快,则易形成淬硬组织,如果拘束力较大,则易导致冷裂纹的产生,因此在施焊时始终保持层间温度不低于预热温度。

(7)背面采用机械方法清根。

(8)焊后立即用石棉毡缠绕焊缝,保温并缓冷 1 h 以上,然后去掉石棉毡在空气中冷却到室温。

(9)焊接工艺评定参数如表 4 所示。

表 4　焊接工艺参数

焊层	焊接方法	焊材牌号规格	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 v/cm·min^{-1}
第 1 层	焊条电弧焊	A302/φ 3.2	100~120	22~24	6~7
其余各层		A302/φ 4.0	130~150	24~26	6~7
背面层		A302/φ 4.0	130~150	24~26	6~7

注:采用直流反接。

(10)试件缓慢冷却后做 100%X 射线探伤。焊接工艺评定结果见表 5。

表 5　焊接工艺评定结果

射线探伤 JB4730-94	拉力试验 σ_b/MPa	面弯,背弯试验 D=4a,180°	冲击试验(常温)W_v/J 焊缝区	冲击试验(常温)W_v/J 热影响区
合格	581/577	合格	70/76/76 74	64/58/50 57

4　结论

(1)该工艺获得的焊接接头各项性能指标均满足 JB4708-2000 焊接工艺评定的要求,可以应用到生产实践中。

(2)只要焊接材料选择得当,应用正确的焊接工艺,焊后不需要热处理,就可以得到性能满足要求的焊接接头。

参考文献:

[1] 宋天虎.焊接手册(第 2 卷)——材料的焊接/中国工程学会焊接学会编(第 2 版)[M].北京:机械工业出版社,2001.
[2] 钱昌黔.耐热钢焊接[M].北京:水利电力出版社,1988.
[3] 李亚江,王　娟,刘　鹏.异种难焊材料的焊接及应用[M].北京:化学工业出版社,2004.
[4] 李亚江,王　娟,刘　鹏.低合金钢焊接及工程应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
[5] 李亚江.特殊及难焊材料的焊接[M].北京:化学工业出版社,2003.
[7] 周振丰,张文钺.焊接冶金与金属焊接性(第二版)[M].北京:机械工业出版社,1992.
[6] 陈　路.工业焊接技术与质量试验检测评定标准实用手册[M].北京:北京电子出版物出版中心,2003.
[8] JB4708-2000 钢制压力容器焊接工艺评定[S].北京:国家机械工业局,国家石油和化学工业局,2000.

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net